

# Conception objet dans le cadre des systèmes d'information spatiaux

## Agrégation spatiale et généralisation.

Bommel P. \*, Libourel T. \*, Lardon S. \*\*

\* *LIRM Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique, 161, Rue Ada, 34392, Montpellier Cedex 5*

*bommel@lirmm.fr, libourel@lirmm.fr*

\*\* *INRA, Systèmes Agraires et Développement, 2, Place Viala, 34060 Montpellier Cedex 1*  
*lardon@ensam.inra.fr*

---

### RÉSUMÉ.

*Notre propos est de témoigner de l'apport du paradigme objet et notamment du formalisme UML dans l'élaboration et la confrontation de modèles conceptuels. Traitant des problèmes de gestion de l'espace rural, nous portons notre attention sur les notions de représentation du paysage. En particulier, nous précisons l'intérêt du concept d'agrégation utilisé à des fins structurelles et dynamiques. Nous exposons alors un patron générique, permettant de structurer l'espace en différents niveaux d'organisation. L'implémentation de ce schéma en un modèle multi-agents nous a permis d'en évaluer la faisabilité et la pertinence pour l'aide à la décision en matière de gestion de systèmes agraires. En effet, évoluant sous l'effet conjoint des processus naturels et des activités humaines, ces derniers sont complexes et leurs transformations sont difficilement maîtrisables. Par ailleurs, cette complexité est accentuée par le fait que les acteurs de ces systèmes peuvent percevoir leur espace de façons très diverses. Aussi, les perspectives de ce modèle semblent prometteuses dans la mesure où il fournit aux gestionnaires des outils de raisonnement spatial pour concevoir cette complexité et discerner la diversité des points de vue, mais aussi pour imaginer des stratégies alternatives d'utilisation de l'espace et pour explorer différentes hypothèses d'évolution des paysages.*

### ABSTRACT.

*Our intention is to testify to the contribution of the object paradigm and, in particular, of the UML formalism in the development and the confrontation of conceptual models. Dealing with problems of management of agricultural spaces, we point out the concept of landscape representations. In particular, we specify our interest in the notion of aggregation that we used for structural and dynamic purposes. We expose then a generic pattern, allowing to structure space in various levels of organization. The implementation of this diagram in a multi-agents model enabled us to evaluate feasibility and the relevance of this pattern. Our main goal is to obtain a simulation tool for decision-making aid in the management field of agrarian systems. Indeed, evolving under the joint effect of the natural processes and the human activities, these systems are complex and their transformations are not easily controllable. In addition, this complexity is accentuated by the fact that the actors of these systems may perceive their space very differently. Also, the prospects for this model seem promising. It provides to the managers some tools to conceive this complexity and to distinguish the diversity from the points of view. It allows to imagine alternative strategies in the use of space and to explore various assumptions concerning the landscape evolutions.*

**MOTS-CLÉS :** *Formalisation, UML, OMT, pattern, système multi-agents, agrégation, hiérarchie, paysage, représentation, modèles dynamiques*

**KEY WORDS:** *Formalisation, UML, OMT, pattern, multi-agents system, aggregation, hierarchy, landscape, representation, dynamical models*

## Introduction

L'analyse et la conception de systèmes d'information doivent s'adapter à de nouvelles sollicitations. En terme d'informations, la dernière décennie voit notamment émerger une demande de plus en plus croissante en provenance de domaines environnementaux et socio-économiques. Or, gérer ou décider consiste le plus souvent à manipuler des informations qui sont d'une part localisées dans l'espace et/ou dans le temps et d'autre part qui sont impliquées dans des organisations plus ou moins complexes. Ainsi, la gestion de l'espace pose le problème de la multiplicité des acteurs concernés, des interactions entre les différentes formes d'intervention sur l'espace et de la maîtrise des processus naturels qui s'y déroulent. Cela demande de formaliser les différentes entités en jeu et leur articulation et de produire un schéma générique, apparenté à un " patron d'analyse ", pour construire des outils d'aide à la gestion de l'espace. En effet, selon [OUS, 99], on parle de patron d'analyse lorsque le problème traité apparaît dès l'analyse ; notre proposition a pour objectif d'aider tout concepteur de gestion de l'espace lors de la construction de ses modèles.

Notre propos est de témoigner de l'apport du paradigme objet et notamment du formalisme UML (Unified Modeling Language) dans la confrontation transdisciplinaire nécessitée par la complexité des phénomènes à étudier.

Le papier est structuré de la manière suivante :

La section 2 précise le contexte et la thématique abordés. Nous rappelons aussi dans cette section le concept d'agrégation tel qu'il est proposé avec le formalisme UML et qui a constitué une des bases de la réflexion.

La section 3 présente la modélisation générique obtenue en précisant l'intérêt du concept d'agrégation utilisé à des fins structurelles et dynamiques. L'illustration aux divers cas de la construction du paysage est aussi relatée.

Dans la section 4, nous exposons succinctement l'implémentation du modèle en un système multi-agents, nommé *Forpast2*, établit à partir de ce schéma.

Enfin la section 5 éclaire le lecteur sur les avantages et perspectives offertes par l'utilisation de ce type de démarche dans le contexte des SI spatiaux.

## Problématique

### ***Autour de la notion de " paysage végétal "***

Les objectifs du modèle, élaboré et présenté dans cet article, sont multiples. Le but à atteindre est l'obtention d'un outil d'aide à la décision en matière de gestion de l'espace agricole et forestier. Nous souhaitons appliquer cet outil et les concepts sous-jacents sur un exemple de maîtrise de l'embroussaillage en arrière-pays méditerranéen [LAR 95]. Nous proposons donc un modèle des dynamiques de transformation de l'espace afin d'aider les acteurs à raisonner leur stratégie d'utilisation de l'espace en fonction d'un objectif commun de maîtrise de l'embroussaillage [LAR 98]. Pour cela nous avons construit un modèle informatique pour simuler différentes dynamiques en interactions et comprendre leurs impacts sur le paysage. Nous définissons plusieurs niveaux d'appréhension d'un territoire. Le modèle propose plusieurs granularités, par exemple et en ce qui concerne le paysage végétal, de la plus fine coïncidant au faciès élémentaire, à la plus large correspondant aux grands types végétaux présents sur le territoire (forêt, lande, etc.). De même, plusieurs thèmes sont considérés, en complément du paysage végétal, tel que le paysage de production, correspondant aux interventions de pâturage ou de coupe forestière sur l'espace ou le paysage d'exploitation, relatif à l'appropriation foncière de l'espace.

## Autour de la notion d'agrégation en UML

A l'origine, les divers modèles objets ont été proposés, notamment dans le contexte des SGBD et plus largement des SI, pour pallier le manque d'expressivité relatif à la représentation des entités complexes.

A l'heure actuelle, les avancées les plus importantes, dans les formalismes relatifs aux méthodes à objets sont présentées au sein du formalisme UML. Les spécificités de ce langage sont gérées par l'OMG (Object Management Group) [OMG 99]. De nombreux ouvrages en explicitent l'impact en terme de conception objet [ERI 97] alors que d'autres insistent sur la réutilisation des patterns existants et ayant déjà fait leur preuves [GAM 95] [OUS 99].

Le concept d'agrégation est présenté au niveau du méta-modèle comme une spécialisation du concept de relation.

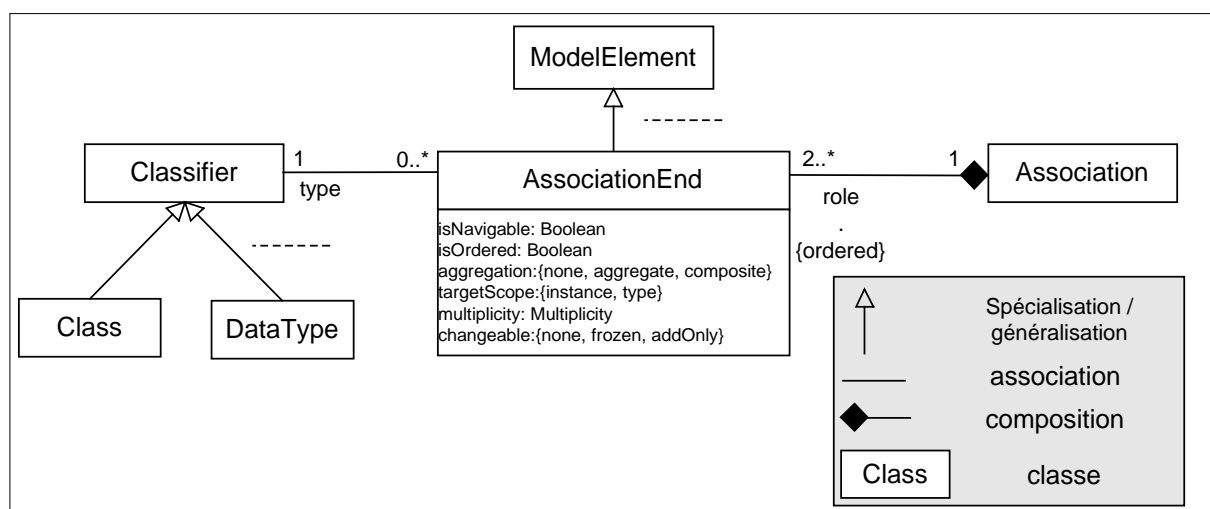


Figure 1 : Extrait du méta-modèle UML 1.3.

L'agrégation est en fait une interprétation spécifique dévolue au concept d'association classique existant entre deux à n classes. Elle spécifie que les instances de la classe associée au rôle agrégat sont le tout d'un ensemble d'instances composantes.

De nombreux travaux existent et présentent les diverses variétés de terminologie et de taxinomie liées soit au concept d'agrégation, soit au concept de composition [GAR 97]. Nous nous interrogeons ici sur l'existence ou non de plusieurs familles de relation de composition et d'agrégation et sur les propriétés de ces relations. Par exemple, nous laissons méditer le lecteur sur cette citation de Sciences et Avenir [99] : “ Le tout est-il univoque ? Tout dépend de la façon dont on réunit les parties de ce tout. La totalité extensive ou mécanique (pan e grec ancien) est une simple addition de parties avec les relations et le sens qu'on peut leur attribuer. Par exemple, vues l'une après l'autre, les taches de couleur d'un tableau ne constituent qu'un agrégat inepte, mais leur ensemble peut former un chef-d'œuvre. Or notre esprit aura du mal à les considérer isolément, ce qui tend à montrer qu'on ne peut considérer une partie sans avoir préalablement penser le tout qui la contient ”. Pour notre part, l'agrégation permet d'exprimer une notion qui va au-delà de la composition classique car au-delà de l'idée qu'un objet peut être construit sur une collection d'objets elle permet de distinguer une *hiérarchie* dans les objets concernés.

Force est de constater que la perception de l'agrégation est liée à une perception multigranulaire, selon le niveau auquel se situe l'utilisateur. Il a loisir de percevoir l'agrégat comme un objet à part entière sans avoir besoin de connaître les détails relatifs à ses parties.

Ici nous trouvons pertinent de rapprocher notre compréhension de l'agrégation de la vision de la hiérarchisation par niveaux que préconisait la norme ANSI/SPARC pour les modèles des bases de données. Le niveau externe (celui perçu par les utilisateurs finaux) est en fait établi sur la base d'agrégats constitués sur le niveau conceptuel (le niveau logique mis en place par le

concepteur), lui-même constitué au-dessus du niveau physique et qui présente les diverses parties ou éléments potentiellement disponibles pour constituer les agrégats du niveau externe.

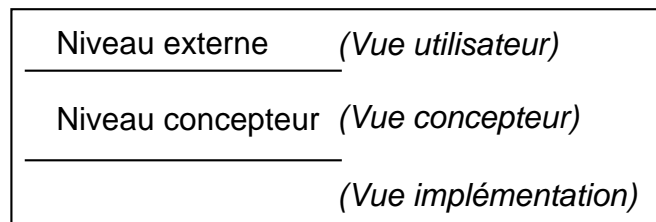


Figure 2 : Hiérarchisation par niveaux selon la norme ANSI/SPARC

La notion d'agrégation est alors assimilable à la notion de vue du modèle relationnel, voire du modèle objet pour les bases de données. Nous allons donc tenter d'illustrer dans la section suivante comment l'idée de perception hiérarchique liée à l'agrégation permet de donner une représentation "générique" pour la classe de problèmes traitée.

## Modélisation

Les systèmes d'information spatiaux nécessitent des techniques d'agrégation plus sophistiquées que celle que nous avons évoquées dans le paragraphe précédent. En effet la perception de l'espace est liée à la notion d'échelle et de position de l'observateur. Nous présentons donc dans cette partie, le schéma formel de notre modèle, sous la forme de diagrammes structurels ou de classes. Nous exposons aussi sa dynamique sous la forme de diagrammes de séquences.

### 3.1 Point de vue structurel

#### Diagramme structurel "générique"

La représentation des systèmes environnementaux ou socio-économiques nécessite la prise en compte de l'organisation structurelle des entités du monde réel au travers de filtres de perception hiérarchique. En effet, il apparaît que le concept de groupe ou d'agrégat permet de structurer (du latin *strutere*, construire) notre représentation de l'espace. En effet, le regroupement des éléments entre eux n'est pas le fruit d'une opération donnée par la nature des choses. Mais c'est au contraire, une démarche individuelle qui participe d'un processus mental complexe. Par exemple, la notion de regroupement d'arbres en un bois procède d'un travail mental. Le fait de considérer cet agrégat d'arbres comme étant un objet en lui-même (un bois) se présente comme l'aboutissement d'un processus de classification permettant de constituer des ensembles que l'on peut nommer et qui véhiculent un sens.

*"Toute expérience perceptive est nécessairement le produit final d'un processus de catégorisation" [ARN 76]*

En prolongeant ces propos, nous pouvons définir un modèle de classes correspondant à notre vision de la structuration de l'espace. Partant de la structure hiérarchique du paysage végétal, nous proposons un schéma de catégorisation que nous souhaitons générique.

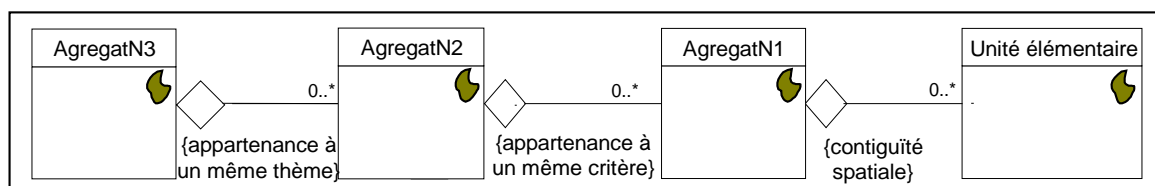


Figure 3 : Diagramme structurel "générique" du paysage. Le pictogramme dessiné dans les classes caractérise des objets de dimension spatiale surfacique

A partir d'une unité surfacique élémentaire, correspondant à la granularité minimale choisie par le modélisateur, ce diagramme propose de considérer l'espace comme une suite hiérarchisée d'entités. L'agrégation qui permettra la hiérarchisation se fait sur des critères spatiaux et/ou thématiques. Ainsi, un "agrégat de niveau 1" est un objet surfacique constitué d'un ensemble d'unités élémentaires contiguës et regroupées selon un critère thématique choisi par le concepteur. En d'autres termes, ce critère peut être défini comme un ensemble de caractéristiques relatives à un thème. L'ensemble des agrégats de niveau 1 de même caractéristique forme un "agrégat de niveau 2". Il forme un ensemble de surfaces disjointes. La collection de ces agrégats N2 correspond à un agrégat de niveau 3 qui constitue une partition complète de l'espace formant un paysage thématique. Dans le paragraphe suivant, nous éclairons toutes ces notions par un exemple.

### Cas du "paysage végétal"

Le schéma présenté dans le paragraphe précédent constitue un patron d'analyse réutilisable. Dans un premier temps, nous appliquons sa structure générique sur le thème de la végétation. Nous obtenons un nouveau graphe représentant une des spécialisations possibles du diagramme générique.

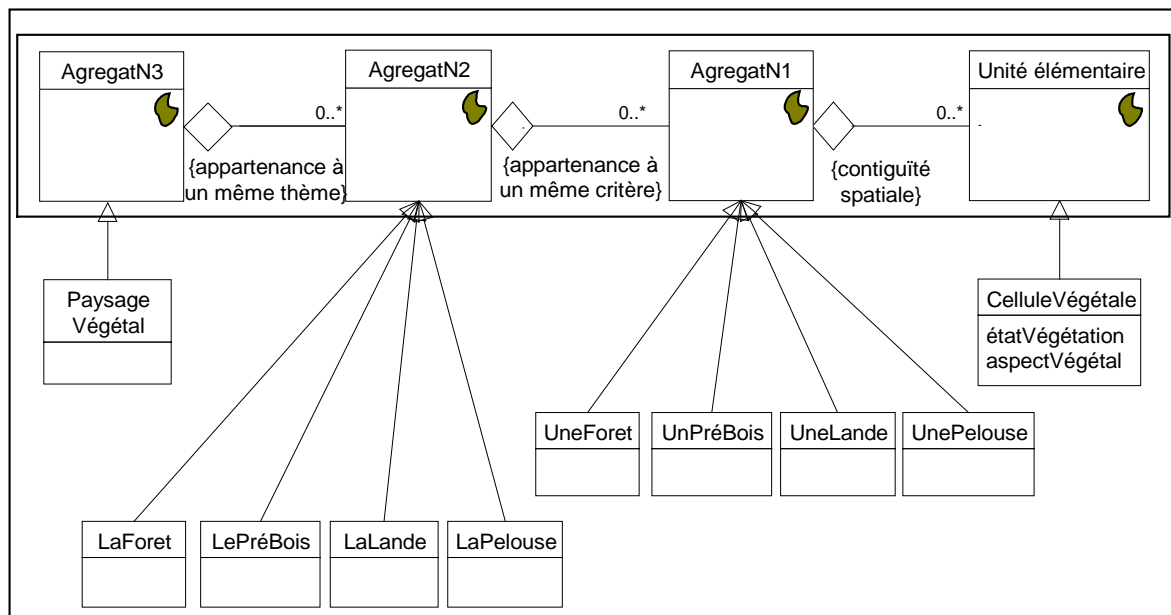


Figure 4 : Diagramme de classe du paysage végétal.

Ce diagramme permet de concevoir l'espace comme une hiérarchie d'objets végétaux. Il est construit sur une typologie grossière de la végétation en 4 types : pelouse, lande, pré-bois et forêt, que l'on peut assimiler à des aspects végétaux. Chaque surface élémentaire végétale réalise à un moment donné, un unique aspect : une cellule de pelouse, une cellule de forêt, etc. Ainsi, un groupe de cellules de forêt connexes, par exemple, forme un agrégat N1 de type forêt, ayant une surface, une forme et une position dans l'espace. Partant des 4 catégories végétales définies au niveau élémentaire, on rencontre 4 types d'agrégat N1. De même que la collection de toutes les forêts définit un agrégat N2, encore appelé la forêt du paysage végétal, on définit 3 autres types de collections végétales : la pelouse, la lande et le pré-bois. Enfin, un paysage végétal, constitué de ces 4 collections, forme une partition exhaustive de l'espace. Cet agrégat de niveau 3 est un objet établi sur la base de la catégorisation initiale en 4 types du thème végétal.

La figure suivante montre une hiérarchie d'objets spatiaux :

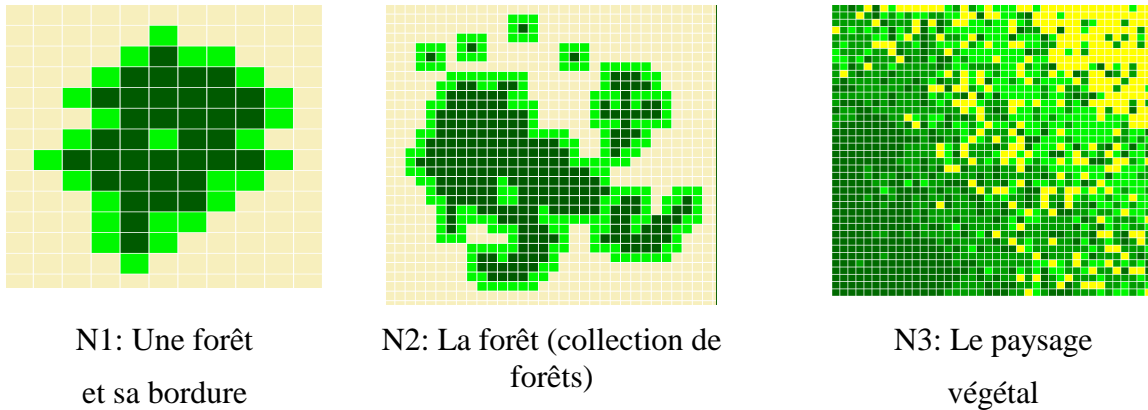


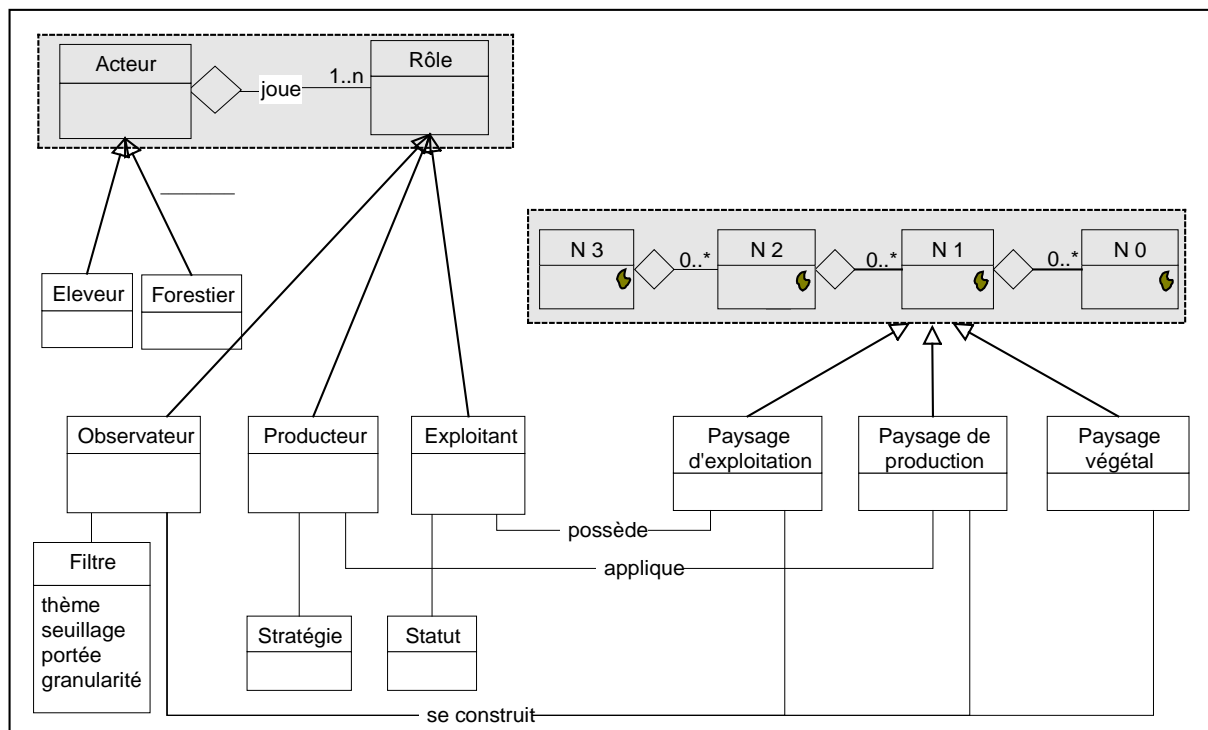
Figure 5: Exemples d'objets de niveau 1, 2 et 3.

On pourrait aussi définir un thème végétal plus ou moins complexe, établi sur la base d'une typologie différente de celle présentée ici.

### Réutilisation

Nous avons pu vérifier la réutilisation de notre “patron” lors de l'étude de deux autres perceptions du paysage, selon des points de vue utilisateur différents : la production qui permet de voir l'espace selon l'activité des producteurs (les pâtures d'un éleveur, les zones de coupe forestière d'un forestier, etc.) et l'exploitation coïncidant à la dimension foncière de l'espace. Lors de cette analyse nous avons également utiliser le patron d'analyse "rôle" développé par [COA 95].

Figure 6 : Diagramme de classes du modèle dans son ensemble.



En grisé, figurent les 2 principaux “patrons d’analyse” utilisés : le pattern d’agrégation hiérarchique que nous proposons et celui de rôle.

La stratégie du producteur consiste à répartir des moutons sur l’espace (s’il est éleveur), selon les caractéristiques de ses pâtures, qui sont souvent pour lui des objets de niveau1, mais peuvent être considérés aux niveaux hiérarchiques inférieur ou supérieur. De même, compte-tenu de son

statut de propriétaire ou de fermier, l'exploitant considérera son territoire d'exploitation aux différents niveaux d'agrégation possibles. Dans l'application suivante, nous avons considéré le paysage d'exploitation comme fixe, par contre nous suivons la dynamique du paysage végétal et la constitution du paysage de production (pâtures). L'acteur joue ces différents rôles d'observateur du paysage végétal, de producteur du paysage de production et d'exploitant du paysage d'exploitation, qui constituent le même territoire.

### ***Point de vue dynamique***

Cette partie expose uniquement les diagrammes de séquence que nous avons développés pour notre modèle.

#### ***Diagramme de séquence “générique”***

Le diagramme “dynamique”, présenté sur la figure suivante, respecte l'interprétation classique de la “diffusion” d'opérations, liée à l'agrégation. Pour s'actualiser, les agrégats de niveau 3 lancent la demande de mise à jour auprès de leurs agrégats de niveau 2. Ces derniers lancent, à leur tour, une demande de mise à jour auprès de leurs agrégats de niveau 1. Pour s'actualiser, ceux-ci interrogent l'état du niveau 0, car c'est le niveau élémentaire qui subit les modifications de la part du temps et des agents divers extérieurs au système.

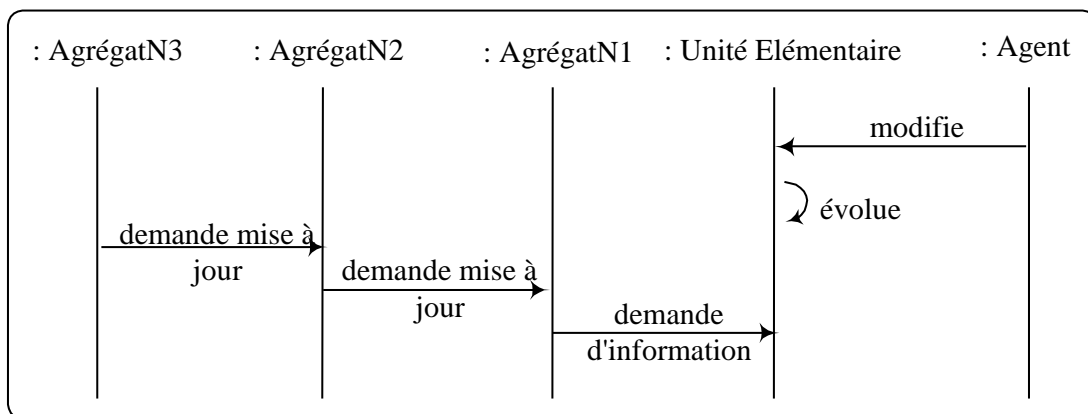


Figure 7 : Diagramme de séquence “générique”

#### ***Cas du paysage végétal***

Appliqué au paysage végétal, le diagramme de séquence est quasiment identique au précédent. Nous le présentons ici, uniquement sur l'exemple de la forêt. Les processus sont les mêmes pour les trois autres catégories végétales.

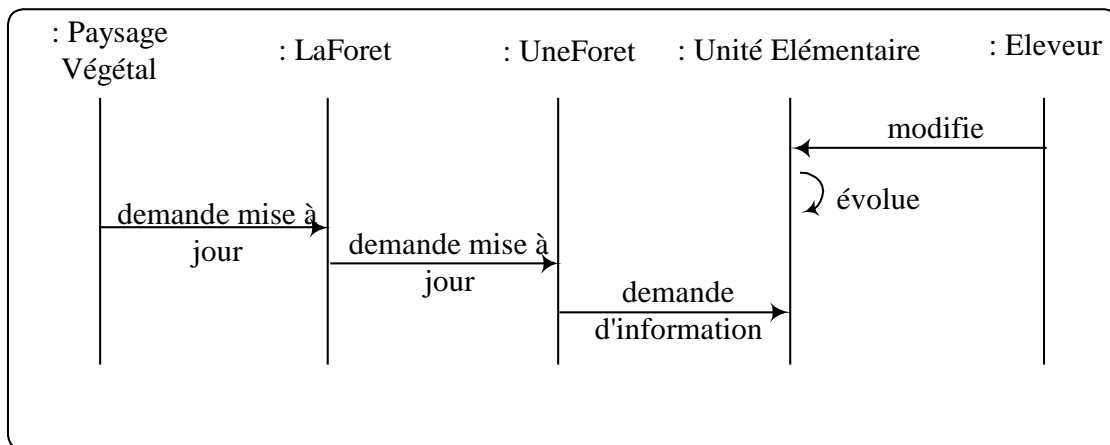


Figure 8 : Diagramme de séquence du paysage végétal, pour le seul exemple de la forêt.

## Réalisation

### La dynamique de la végétation est simulée par un automate cellulaire

Un automate cellulaire définit la structure élémentaire de l'espace. Il constitue aussi le support fonctionnel de la dynamique de la végétation. Ainsi, les deux principaux modes de propagation des espèces, endémiques et épidémiques, ont été caricaturés par deux processus : une croissance intrinsèque et une diffusion. La croissance est rendue par une augmentation de l'embroussaillage de chaque cellule (+1) et la diffusion par un surcroît sur les bordures des forêts (+2).

Etabli sur la base d'une seule variable "état d'embroussaillage", ce modèle de dynamique de la végétation est simpliste et ne prend nullement en compte la diversité des espèces, ni tous les autres paramètres biophysiques de l'environnement (climat, pédologie, etc.) ni la diffusion à distance par les semenciers.

D'autre part, à chaque état d'embroussaillage est associé un aspect de la façon suivante :

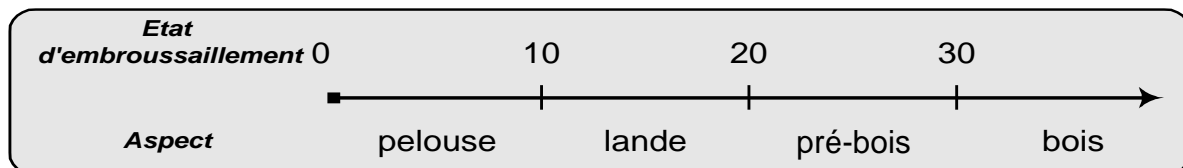


Figure 9: Etat d'embroussaillage et aspect végétal associé. C'est sur la base de ce deuxième indicateur que sont constitués les objets du paysage végétal.

Ces quatre aspects constituent notre typologie végétale.

### Les activités humaines sur l'espace sont décidées par les agents

Des acteurs humains agissant sur un territoire sont simulés dans le modèle par des agents informatiques. Dans l'état actuel, seuls les agents éleveurs appliquant différentes stratégies de pâturage et les forestiers exploitant des zones boisées, ont été modélisés.

La dynamique de pâturage résulte du choix des éleveurs de répartir la pression de pâturage sur son paysage d'exploitation; celle-ci est de -1 ou de -2 en fonction du nombre de moutons que chaque éleveur décide de placer par cellule (correspondant à une pression de pâturage).

Les coupes d'arbres décidées par le forestier sur son domaine d'exploitation constituent la dynamique de l'exploitation forestière. Une cellule en forêt redevient pelouse si elle a été coupée à ras.



Ainsi, le simulateur modifie à chaque pas de temps l'état d'embroussaillage des cellules en tenant compte de la pression de végétation (+1 ou +2), de la pression de pâturage (0, -1 ou -2) et de la pression de coupe forestière (-n).

### **Mise à jour de la hiérarchie d'agrégats**

Les modèles SMA spatialisés sont constitués de deux couches : un automate cellulaire, support des ressources, et des agents agissant sur cet espace. A cela, nous avons ajouté une nouvelle couche constituée de l'agrégation d'objets spatiaux, décrits au début de cette partie. Après une phase d'initialisation, cette couche est régulièrement mise à jour. En effet, plutôt que de reconstruire l'ensemble des agrégats à chaque pas de temps en balayant toute la grille de cellules, les différents objets spatiaux sont mis à jour régulièrement.

Dans l'état actuel de la réalisation, le déclenchement des mises à jour est commandé par un contrôleur. D'une part, celui-ci effectue les modifications sur les unités élémentaires (correspondant à des évolutions liées au temps) et, d'autre part, il contrôle la mise à jour descendante, conformément au diagramme générique.

En terme de complexité et de temps de calcul, l'actualisation est la plus importante pour les agrégats de niveaux 2 et 1. En fonction de l'état de leurs cellules, les N1 doivent croître ou décroître, se fusionner ou se scinder. Les agrégats de niveau 2, quant à eux, décident de la création de nouveaux objets N1 ou de la suppression d'agrégats N1 vides.

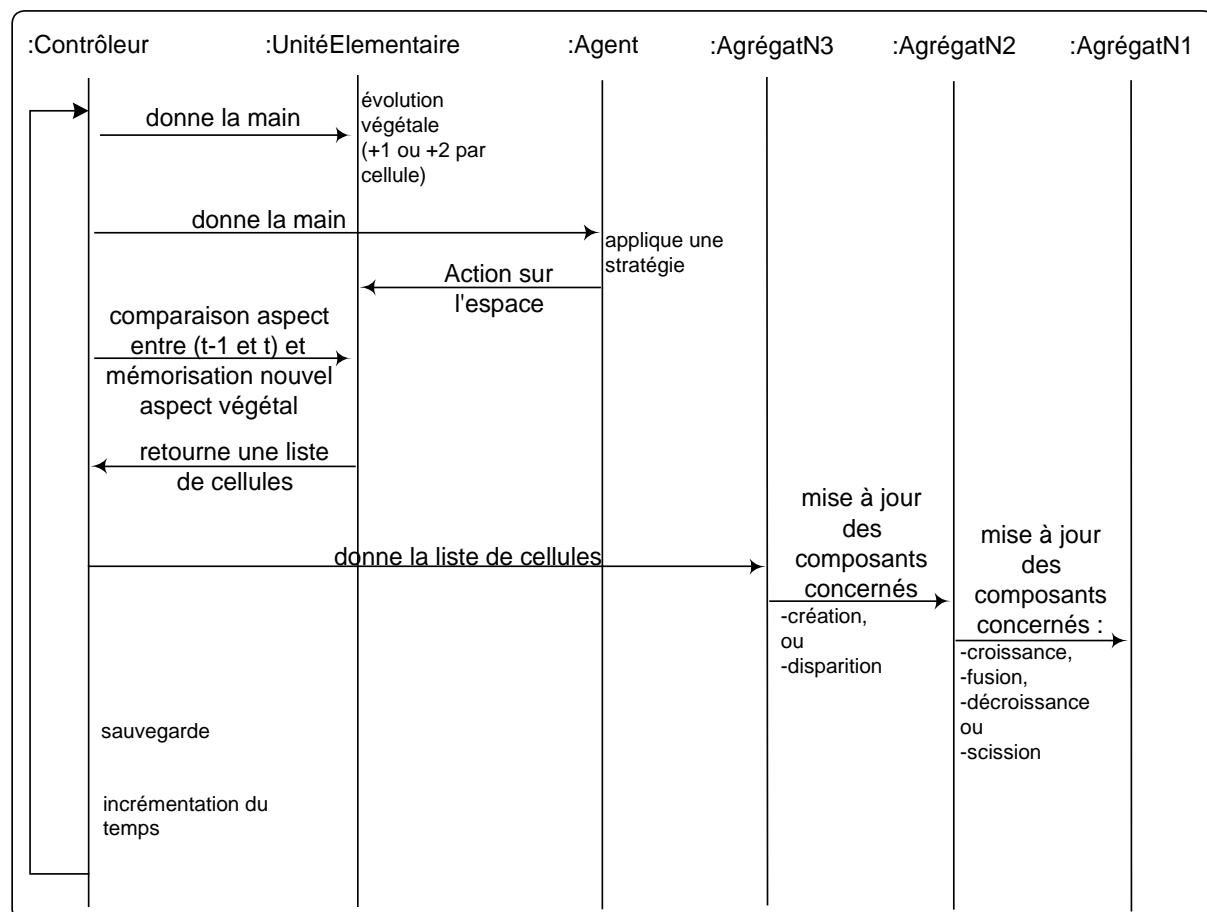
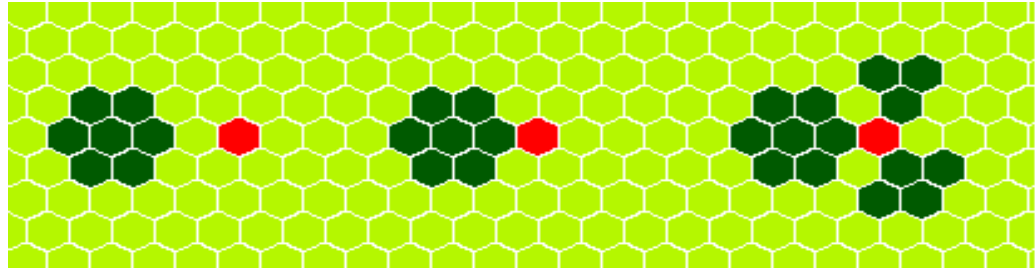


Figure 10 : Diagramme dynamique effectif d'implémentation



	<i>A: cellule éloignée d'un agrégat</i>	<i>B: cellule en contact avec un agrégat</i>	<i>C: cellule en contact avec plusieurs agrégats</i>
Apparition d'une cellule	Création d'un nouvel agrégat	Croissance de l'agrégat	Fusion de n agrégats en un seul
Disparition d'une cellule	Suppression de l'agrégat	Décroissance de l'agrégat	Scission d'un agrégat en plusieurs

*Figure 8 : Mise à jour des composants*

Une autre perspective de mise à jour des objets spatiaux est envisagée au paragraphe 0.

## Acquis et perspectives

Un premier acquis relève de la démarche d'analyse que nous avons validée par une implémentation du modèle qui permet de simuler les interactions entre des dynamiques naturelles et humaines.

### Implémentation

L'implémentation a été réalisée sur la plate-forme de simulation *CORMAS*<sup>1</sup>, du CIRAD-GREEN [BOU 98]. Elle utilise le langage objet SmallTalk de VisualWorks. *CORMAS* permet de créer facilement des systèmes multi-agents. Elle propose diverses classes d'agents (communicants, situés, etc.) dont nous pouvons hériter pour créer nos propres agents. D'autre part, elle offre par défaut un automate cellulaire jouant le rôle d'univers dans lequel les agents évoluent. Cet automate est représenté par une grille de cellules dont les états peuvent changer à chaque pas de temps (le temps et l'espace sont discrétisés). La transformation des états des cellules peut être synchrone ou asynchrone.

La dynamique de la végétation est simulée au niveau du moteur de l'automate cellulaire. Chaque cellule est un objet informatique considéré comme entité élémentaire du modèle. L'ensemble des cellules, constituant une grille de l'espace, peut être visualisé sur l'écran de l'ordinateur.

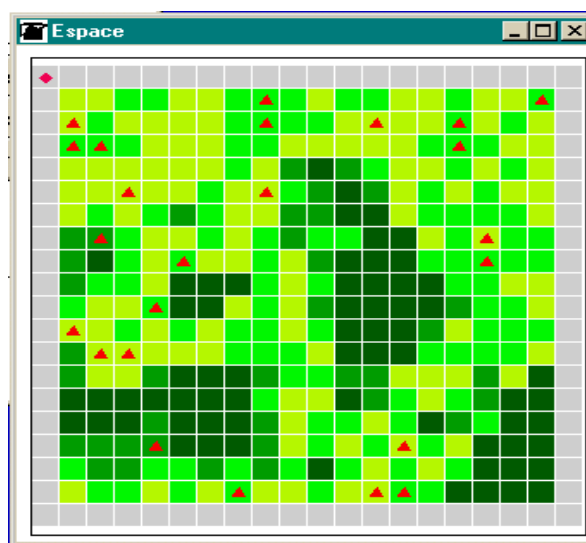


Figure 11 : Une vue de la grille de ForPast2. Les nuances de couleur (du clair au foncé) représentent respectivement de la pelouse, de la lande, du pré-bois et de la forêt. Les triangles et les losanges symbolisent les agents éleveurs et les moutons qui évoluent sur cet univers.

### Vers une "agentification" des objets spatiaux

Dans l'état actuel du modèle, la procédure de mise à jour des objets spatiaux est réalisée de façon hiérarchique et descendante (cf. paragraphe 0). Dans ce système hiérarchique pyramidal, l'information circule en sens unique, de haut en bas. Par exemple, une instance d'agrégatN1 *UneForêt* ne connaît que ses composants (des cellules en forêt). Il ne sait rien, par contre, de l'agrégatN2 *LaForêt* auquel il appartient. Il n'y a pas accès. Cette absence de connaissance de la part des objets de la hiérarchie alourdit et ralentit la procédure de mise à jour du paysage.

<sup>1</sup> <http://www.cirad.fr/presentation/programmes/espace/cormas/fr/index.shtml>

On pourra donner aux cellules et aux objets spatiaux la faculté de connaître les agrégats auxquels ils appartiennent. Ils pourront alors, d'eux-mêmes, avertir leur "supérieur hiérarchique" des changements qu'ils subissent. Comme auparavant, chaque agrégat connaît ses composants, mais ici, il n'ignore plus l'agrégat supérieur auquel il appartient. De plus, à l'instar des cellules qui connaissent leurs voisins, chaque agrégatN1 peut communiquer avec ses voisins de même catégorie. Dès lors, une forêt et une pelouse en contact peuvent s'échanger des informations. Cette nouvelle propriété permet d'élaborer, au-dessus de l'automate cellulaire, de nouveaux automates (des "automates d'agrégatN1"). Ces derniers fonctionnant de la même façon que leurs homologues sous-jacents, mis à part que les cellules sont remplacées par des objets spatiaux de formes différentes.

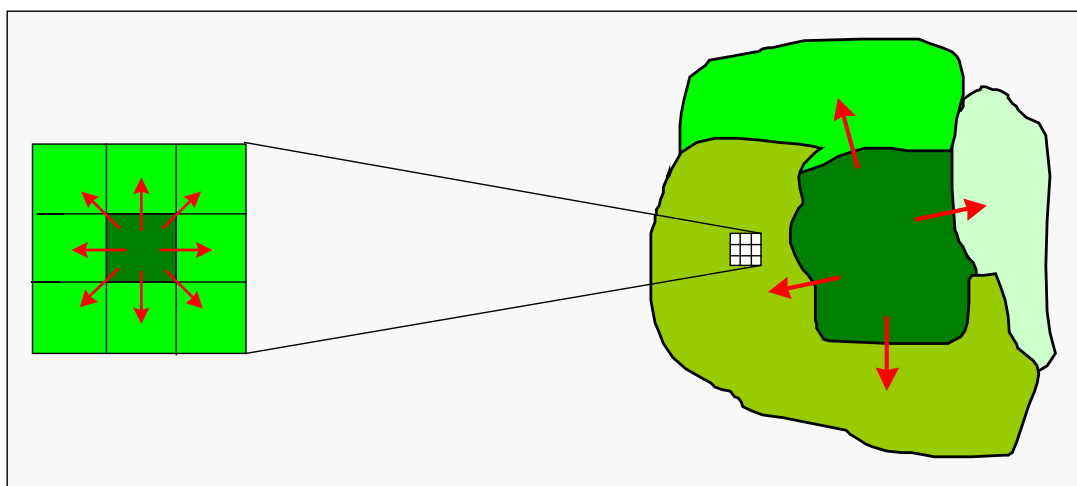


Figure 12 : Comparaison entre automate cellulaire classique et automate d'agrégatN1.

Les agrégats de niveau supérieur N2 et N3 devront eux aussi pouvoir communiquer avec les objets de même niveau et de même catégorie.

Grâce à ces nouvelles relations, la communication au sein du système hiérarchique pyramidal devient verticale, ascendante et descendante, et horizontale. Tous les objets spatiaux pourront alors, d'eux-mêmes, avertir leurs "collègues" ou leur "responsable" des changements qu'ils subissent. Lors de la mise à jour de l'ensemble du paysage, la procédure sera alors plus rapide et plus fluide, car seuls les objets concernés seront activés [BOM 99].

Ces modifications complètent les comportements des objets spatiaux qui peuvent ainsi mieux percevoir leur environnement et mieux communiquer. Ils passent donc du stade de l'objet quasi inerte à celui d'agent sensitif et communicant.

### **Modéliser de dynamiques conjointes naturelles et humaines**

Cette formalisation des objets spatiaux comme des agents implémentés dans une plate-forme multi-agents permet de rendre opératoire les concepts d'espace ressource, facteur et produit que nous avons identifiés comme pertinents pour modéliser les systèmes agraires [LAR 90]. L'espace est une ressource pour les activités agricoles, mais aussi un facteur car il les conditionne. Réciproquement, c'est un produit des activités humaines qui le transforment. Cette prise en compte simultanée de l'espace et des activités des acteurs est nécessaire à la compréhension de la maîtrise par les activités humaines des processus naturels, comme ici l'embroussaillage. De même, la représentation conjointe de l'espace dans sa maille élémentaire, plus facile pour représenter les processus naturels et dans sa constitution en agrégat, plus proche des niveaux d'intervention humaine est opératoire pour notre objectif de simulation d'interactions de dynamiques. Nous avons testé quelques stratégies d'intervention des éleveurs

caricaturées sur quelques configurations initiales de l'espace et montré, à travers des critères spatiaux et temporels, l'intérêt de ces simulations pour l'aide à la gestion de l'espace [LAR 99].

## CONCLUSION

Cette expérience de formalisation de l'agrégation spatiale et de hiérarchie a montré la richesse du formalisme objet et sa pertinence pour aborder la modélisation de systèmes complexes. Des concepts énoncés par des agronomes y ont trouvé une expression concrète, rendue possible à la fois par l'existence d'outils de simulation multi-agents et par la capacité de les compléter par les concepts spatiaux. Les modélisateurs et les informaticiens ont ainsi apporté leur contribution à la compréhension de phénomènes complexes. Cette première étape ouvre des perspectives opératoires pour fournir aux gestionnaires de l'espace des outils de raisonnement spatial pour imaginer des stratégies alternatives d'utilisation de l'espace et pour tester différentes hypothèses d'évolution des paysages sous l'effet conjoint des processus naturels et des activités humaines.

## Bibliographie :

- [ARN 76] ARNHEIM R., La pensée visuelle. Flammarion 1976, pour l'édition française. 350 pages.
- [BOM 99] BOMMEL P. Analyse et amelioration d'un modèle multi-agents. Application à la modélisation des dynamiques sylvo-pastorales (modèle Forpast). Rapport de stage de DESS IAO (Informatique Appliquée aux Organisations). Université Montpellier II. 1999.
- [BOU 98] BOUSQUET F., BAKAM I., PROTON H., LE PAGE C., "*Cormas : common-pool resources and multi-agent systems*". Conférence IAE-AIE, Spain. 12 pages. 1998.
- [COA 95] COAD P. Object models, Strategies, patterns, & applications, Englewood Cliffs, New Jersey, Yourdon Press, Prentice Hall Building, 1995, 505 pages.
- [ERI 97] ERIKSON H.E., PENKER M. UML Toolkit. John Wiley & Sons. October 1997. 397 pages.
- [GAR 97] GARDARIN G., BOUZEGHOUB M., VALDURIEZ P. Les objets. EYROLLES - mai 1997 - 456 pages .
- [GAM 95].GAMMA E., HELM R., JOHNSON R., VLISSIDES J. Design patterns – Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts. 1995. Pour l'édition française : Design Patterns. International Thomson Publishing, Paris. 1996. 460 pages.
- [OUS 99] OUSSALAH M. Réutilisation et patrons d'ingénierie. Front-Conte A., Giraudin J.P., Rieu D., Saint-Marcel C., Génie objet (chap. 3). Hermes, 1999, pp. 91-136.
- [LAR 90] LARDON S., DEFFONTAINES J.P., BAUDRY J., BENOÎT M. L'espace est aussi ailleurs. In : Brossier J., Vissac B. & Le Moigne J.-L. (éd.) *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation*, Paris, INRA-SAD, 1990, pp. 321-337.
- [LAR 95] LARDON S., OSTY P. L., TRIBOULET P. ,Elevage et éleveurs du Causse-Méjan (Lozère). Dynamique de mise en valeur et contrôle de l'espace. In : Bonniol J. L., Saussol A. (coord.) *Grands Causses. Nouveaux enjeux, nouveaux regards*. Fédération pour la Vie et la Sauvegarde du Pays des Grands Causses, 1995, pp. 219-242.
- [LAR 98] LARDON S., BARON C., BOMMEL P., BOUSQUET F., LE PAGE C., LIFRAN R., MONESTIEZ P., REITZ P. Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agents pour la maîtrise de dynamiques d'embroussaillage. Colloque SMAGET Clermont-Ferrand, 5-8/10/98. 10 pages. 1998
- [LAR 99] LARDON S., BOMMEL P., LIFRAN R., La transformation de l'espace par les activités agricoles et forestières. Forme des objets et évaluation des dynamiques. Ecole-chercheur Économie Spatiale et Régionale, Le croisic, 8-10/12/99, 20 pages.
- [OMG 99] OMG (OBJECT MANAGMENT GROUP) Unified Modeling Language Specification. Version 1.3, June 1999
- [S&A 99] La théorie du tout. Tout l'univers dans une équation. Science et avenir, Hors série n°118. Mai-Juin 1999.